

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Cejchování clony

Calibration of the Membrane

Student: David Švrčina
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Jablonská, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **David Švrčina**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Cejchování clony**
Calibration of the Membrane

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte teorii o cejchování clony.
2. Zpracujte návrh měřicí trati a vytvořte hydraulické schéma pro cejchování clony (pro vodu).
3. Zpracujte měření a grafické vyhodnocení cejchování clony pro různé otáčky čerpadla na všech dostupných měřicích tratích na katedře.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. NOSKIEVIČ, J. *Mechanika tekutin*. Praha. SNTL Praha, 1987. 354 s.
2. JENČÍK, J.; KUHN, L. *Technická měření ve strojírenství*. Praha. SNTL Praha. 1982. 580 s.
3. JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: Skripta VŠB-TU Ostrava, 1995. 155 s.
4. VINOPAL, S.; KOLÁŘ, V. *Hydraulika průmyslových armatur*. Praha. SNTL Praha, 1963. 650 s.
5. NOSKIEVIČ, J. AJ. *Mechanika tekutin - příručka pro laboratorní cvičení*. Ostrava. VŠB-TU Ostrava, 1987. 152s. ISBN 80-03-00308-3.
6. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
7. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
8. PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.
9. KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Ostrava. VŠB-TU Ostrava, 1990. 159s. ISBN 80-03-00308-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Jablonská, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

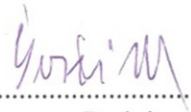
V Ostravě 16.5.2012

gorčin
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2012


.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: David Švrčina

Adresa trvalého pobytu autora práce: Křenovice 109

Křenovice, 752 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠVRČINA, D. *Cejchování clony: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 47 s. Vedoucí práce: Jablonská, J.

Bakalářská práce se zabývá cejchováním clony. V úvodu je zpracována teorie k cejchování clony. Tato část obsahuje různé metody cejchování, samotnou konstrukci clony a požadavky na její umístění v obvodu. Praktická část práce obsahuje návrh vodní tratě pro cejchování clony. Tato trať je navržena pro použití clon s jakýmkoli normovaným poměrem zúžení. Maximální vnější průměr clony je $D = 21,2$ mm. V práci je také zpracováno měření všech dostupných měřících tratí na katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení. Při měření jsem zaznamenával hodnoty průtoku, doby výtoku kapaliny a ztrátové výšky na cloně. Následným početním a grafickým zpracováním jsem získal cejchovní křivku clony. Pro každou úlohu jsem stanovil chybu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠVRČINA, D. *Calibration of the Membrane: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2012, 47 p. Thesis head: Jablonská, J.

This bachelor thesis deals with calibration of the membrane. In the beginning of the thesis, the theory of calibration of the membrane is explained. This part includes various methods of calibration, the construction of the membrane itself and the specifications needed for its perimeter placement. The practical part contains a blueprint of the water line for calibration of the membrane. This line is designed for the use of membrane with any standardized constriction ratio. The maximum external diameter of the membrane is $D = 21,2$ mm. The thesis also includes measurements of all available measuring lines from the department of hydromechanics and hydraulic equipment. While measuring I recorded the flow rate values, the duration of liquid outflow and the loss heights on the membrane. Consecutively, thanks to calculations and graphic procession I reached to the calibration curve of the membrane. I determined an error for each task.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod	10
1 Základní pojmy měření průtoku	11
1.1 Objemový průtok	11
1.2 Hmotností průtok	11
2 Chyba měření	11
3 Cejchování clony	13
3.1 Hmotnostní metoda	13
3.2 Objemová metoda	13
4 Alternativní prvky pro měření průtoku	14
4.1 Dýza	14
4.2 Venturiho dýza	14
4.3 Venturiho trubice	15
5 Clona	15
6 Princip měření clonou	15
7 Typy clon	18
7.1 Centrické clony	18
7.2 Excentrické clony	18
7.3 Segmentové clony	19
7.4 Víceotvorové clony	19
7.5 Omezující clony	20
8 Konstrukce clony	20
9 Odběr tlaku	22
9.1 Všeobecné podmínky	22
9.2 Clona s odběry ve vzdálenostech D a $D/2$ nebo s přírubovým odběrem:	22
9.3 Clony s koutovými odběry	23
10 Požadavky na zabudování	26

10.1	Všeobecné podmínky ISO 5167-1	26
10.2	Požadované minimální přímé délky před a za clonou	26
11	Návrh měřicí trati pro cejchování	28
11.1	Popis měřicí tratě	28
11.2	Specifikace použitých prvků v obvodu	29
12	Vyhodnocení měření	31
12.1	Postup měření	31
13	Naměřené hodnoty	32
13.1	Měření místních ztrát na vodní trati	32
13.2	Měření spolupráce čerpadel	35
13.3	Měření charakteristiky čerpadla A	36
13.4	Měření třecích ztrát na vodní trati	38
13.5	Měření charakteristiky čerpadla B	39
14	Závěr	41
15	Seznam použité literatury	42
16	Seznam příloh	43

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
S	Průřez	[m ²]
v	Střední rychlost proudění	[m.s ⁻¹]
D	Průměr potrubí	[m]
Q _m	Hmotnostní průtok	[kg.s ⁻¹]
Q _v	Objemový průtok	[m ³ .s ⁻¹]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
δ _r	Relativní chyba	[%]
ΔM	Mezní absolutní chyba	[dle měřené veličiny]
X	Naměřená hodnota	[dle měřené veličiny]
N	Počet měření	[1]
m	Hmotnost vyteklé kapaliny	[kg]
t	Doba výtoku kapaliny	[s]
V	Objem	[m ³]
α	Průtokový součinitel	[1]
ε	Expanzní součinitel	[1]
Δp	Tlakový rozdíl	[Pa]
d	Vnitřní průměr clony	[m]
β	Poměr zúžení	[1]
p _z	Tlaková ztráta	[Pa]
Δh _c	Ztrátová výška	[mm]
p ₁	Tlak před clonou	[Pa]
p ₂	Tlak za clonou	[Pa]
b	Průměr komorového prstence	[m]
c	Délka předního prstence	[m]

Úvod

Ve své bakalářské práci se věnuji problematice cejchování clony. V dnešní době jsou kladeny velké nároky na přesnost měření průtoku vzhledem k stále rostoucím cenám měřených komodit. V této práci se zabývám průřezovými měřidly průtoku a to zejména clonami. Kromě průřezových měřidel se dnes velmi používají i daleko modernější systémy na měření průtoku, jako jsou například indukční nebo ultrazvukové průtokoměry. Hlavní výhodou clon vůči indukčním a ultrazvukovým průtokoměrům je její jednoduchá konstrukce a tudíž i cena. S pomocí clon se dnes měří různá média (přehřáté páry, suché páry, veškeré agresivní i neagresivní kapaliny, plyny a jejich homogenní směsi). Clony jsou dnes využívány téměř v celém průmyslu, měří se s nimi průtoky v ropovodech, plynovodech, též jsou velmi využívány v energetice a petrochemickém průmyslu.

Cílem této práce je proměřit a ocejchovat veškerá dostupná měřící zařízení na katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení z důvodu zajištění správnosti měření na těchto zařízeních. První kapitoly této práce jsou zaměřeny na samotné cejchování a konstrukci clony s porovnáním s ostatními průřezovými měřidly, jsou zde i uvedeny veškeré požadavky na umístění clon. V další kapitole je zde zpracován návrh měřící trati pro cejchování clony se specifikací všech použitých prvků v obvodu. Především je zde zpracováno jak početně tak i graficky samotné měření a vyhodnocení všech dostupných clon. Cejchování bylo prováděno kombinací měřením ultrazvukovým průtokoměrem a objemovou metou měření průtoku. V práci je také vyhodnocena chyba vzniklá při měření.

1 Základní pojmy měření průtoku

1.1 Objemový průtok

Objemový průtok Q_v nám udává objem tekutiny, který při konstantní hustotě ρ proteče měřeným úsekem za jednotku času [m^3s^{-1}]. Při určování objemového průtoku se používá například měření pomocí tlakového rozdílu nebo určováním výpočtem z rychlosti proudění tekutiny v úseku o daném průřezu. V těchto případech ovšem počítáme s tím, že tekutina vyplňuje celý průřez, což nemusí odpovídat skutečnosti. Korekce objemového průtoku při měření se provádějí, pokud dochází ke změnám tlaku a teploty. Pokud je proudícím médiem plyn a pára provádíme korekci kvůli jejich stlačitelnosti. [1]

$$Q_v = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (1.1)$$

1.2 Hmotnostní průtok

Hmotnostní průtok Q_m nám udává hmotnost tekutiny, která proteče měřeným úsekem za jednotku času [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]. [1]

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad (1.2)$$

2 Chyba měření

V současné době jsou kladeny velké nároky na přesnost a tudíž i na vyhodnocování chyb měření. Každé měření, které provádíme je zatíženo určitou chybou.

Rozdělení chyb měření

Podle místa vzniku

1) *Instrumentální chyby*

Tyto chyby jsou způsobené samotnou konstrukcí měřicího přístroje a u mnoha přístrojů jsou udávány přímo výrobcem.

2) *Metodické chyby*

Jsou způsobeny metodikou stanovení výsledků měření. Patří sem organizace měření, eliminace vnějších rušivých vlivů, odečítání dat.

3) *Teoretické chyby*

Odvíjejí se od postupu měření. Jde hlavně o použité principy měření (fyzikální modely měření, použité parametry).

4) *Chyby zpracování dat*

Jedná se o chyby numerické metody, chyby způsobené použitím nevhodných metod statistického vyhodnocení.

Podle příčin vzniku

1) *Hrubé chyby*

Tyto chyby vznikají v důsledku omylů, nedopatření a z neznalosti. Takto naměřené hodnoty lze jednoduše odhalit a vyloučit. Pokud se v měření tyto chyby objeví je nutné měření přerušit a pokračovat až bude tato chyba odstraněna.

2) *Systematické chyby*

Tyto chyby soustavně ovlivňují měřenou hodnotu. Jsou způsobeny použitou metodou měření, přístroji a pozorovacími schopnostmi člověka. Jsou pravidelné, a proto nedochází k jejich vzájemnému vyrušení. Jediný způsob jak je odstranit je jinak uspořádat měření, nebo použít numerické úpravy.

3) *Náhodné chyby*

Tyto chyby nemají znaky pravidelnosti. Z měření je nelze vyloučit. Příčin vzniku těchto chyb je velmi mnoho a výsledná chyba je dána součtem všech elementárních chyb. K vyhodnocení této chyby se užívá matematických statických metod.

Relativní chyba

Určuje nám chybu měřené hodnoty a udává se v procentech. Definujeme ji jako podíl mezní absolutní chyby přístroje a naměřené hodnoty. Znamená to, že bychom se při měření měli pohybovat v horní třetině rozsahu měřicího přístroje.

$$\delta_r = \frac{|\Delta M|}{X} \cdot 100 \quad (2.1)$$

V této bakalářské práci vzniká chyba při odečtu ztrátové výšky Δh_c . Při měření se relativní chyba neadekvátně zvětšuje při měření malých Δh_c . Je to způsobeno tím, že při měření dochází vlivem pulsací čerpadla ke kolísání hladin na U-trubici. Pro zpřesnění

výsledné chyby jsem provedl N měření. Předpokládal jsem normální rozložení chyby, a proto jsem zvolil jako výslednou chybu aritmetický průměr. [12] [6]

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \cdot 100 \quad (2.2)$$

3 Cejchování clony

Základním požadavkem v moderních měřících přístrojích je přesnost. Cejchování je způsob, kterým ověřujeme, zda daný snímač udává reálné údaje v daných mezích a s požadovanou přesností. Pro zajištění potřebné přesnosti měření je vhodné provádět cejchování v daných pravidelných intervalech. Pro cejchování průtoku se používají přesné a drahé průtokoměry, nebo se také využívá metody hmotnostní a objemové [6].

Při cejchování clony postupným regulováním průtoku zaznamenávám pro danou hodnotu průtoku příslušný tlakový rozdíl, který vzniká rozdílem tlaku před a za clonou. Tyto hodnoty poté vyneseme do grafu průběhu průtoku v závislosti na tlakové ztrátě. Proložení těchto bodů křivkou regrese získám cejchovní křivku clony a rovnici s hodnotou spolehlivosti R.

3.1 Hmotnostní metoda

Hmotnostní metoda spočívá v přesném zvážení hmotnosti kapaliny, která vyteče do měřicí nádoby za určitou dobu. Výhodou této metody je přesné zjištění hmotnosti a doby výtoku kapaliny a v neposlední řadě také poměrně velká přesnost této metody, která je $\pm 1\%$. Hlavní nevýhodou této metody je při přepočtu na objemový průtok potřebná znalost hustoty při daném tlaku a teplotě. [6]

$$Q_v = \frac{m}{t \cdot \rho} \quad (3.1)$$

3.2 Objemová metoda

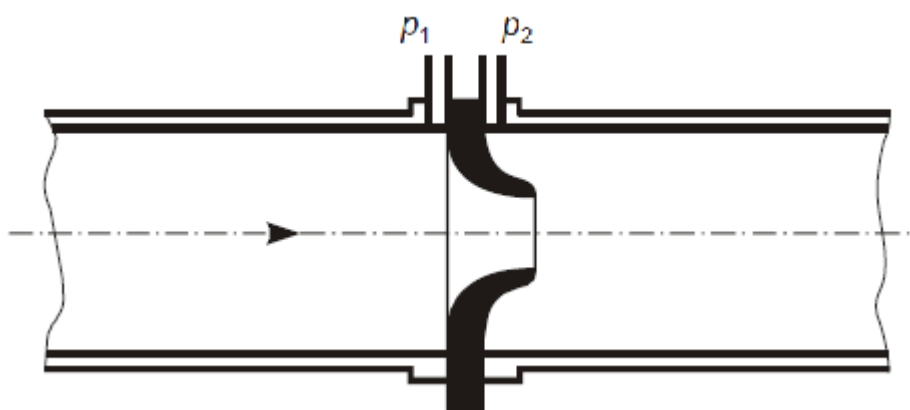
Objemová metoda spočívá v přesném měření objemu, který proteče za určitý čas. K použití této metody je nejvhodnější úzká a dostatečně vysoká nádoba. Samotné měření provádíme tak, že měříme dobu výtoku kapaliny mezi dvěma ryskami, které jsou vyznačeny na odměrné nádobě. Při použití objemové metody je hlavní výhoda v tom, že nepotřebujeme znát hodnotu hustoty pro daný tlak a teplotu. [6]

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (3.2)$$

4 Alternativní prvky pro měření průtoku

4.1 Dýza

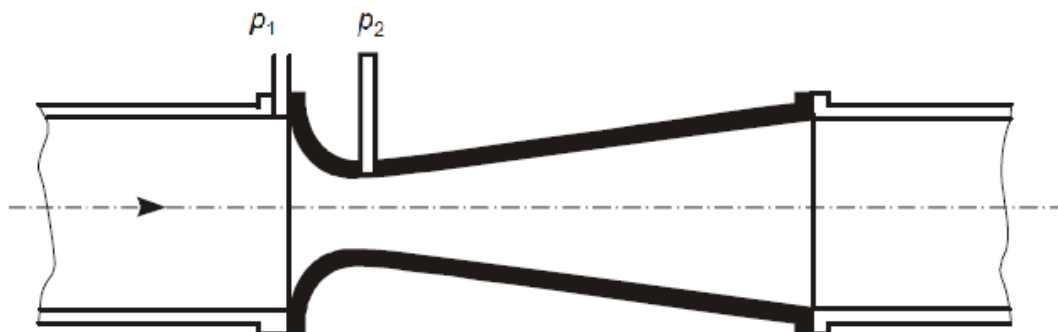
Dýzy oproti cloně více odolávají opotřebení. Výroba dýzy je náročnější vzhledem k jejímu tvaru a potřebné přesnosti. Jsou používány zejména pro velké teploty a tlaky. Poměr zúžení u dýzy se volí v rozmezí 0,05 až 0,64. Využívá se u potrubí o světlosti 50 mm až 500 mm. Do potrubí se zabudovává buď svařováním, nebo se vkládá mezi příruby. Tlaková ztráta na dýze je srovnatelná s tlakovou ztrátou na cloně. [8] [3] [10]



obr. 4.1 Dýza [9]

4.2 Venturiho dýza

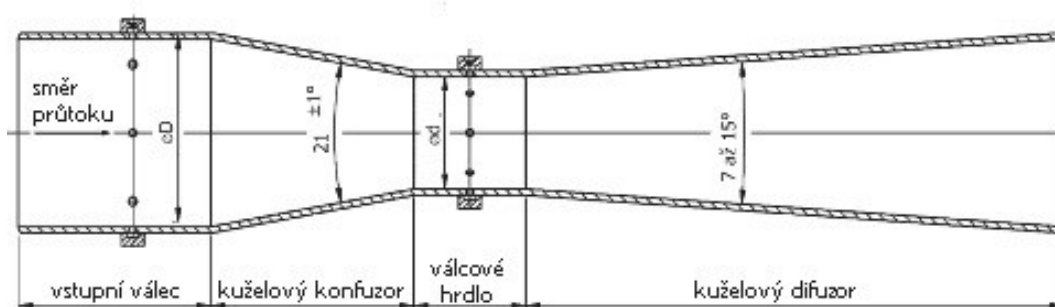
Základem Venturiho dýzy je klasická dýza, která má navíc difuzor. Obdobně jako dýza se používá pro světlost 50 mm až 500 mm. Poměr zúžení se volí v rozmezí 0,05 až 0,6. U Venturiho dýzy dosahujeme nejmenší trvalé tlakové ztráty z důvodu použití difuzoru. Oproti ostatním prvkům pro měření průtoku má odběr tlaku p_2 umístěn v nejužším místě dýzy. Vrcholový úhel difuzoru je menší nebo roven 30° . [8] [3] [10]



obr. 4.2 Venturiho dýza [9]

4.3 Venturiho trubice

Venturiho trubice je nenáročná na výrobu. Na rozdíl od venturiho dýzy obsahuje její náběhová strana konfuzor místo dýzy. Vyrábí se ve světlosti od 50 mm do 1200 mm. Její tlaková ztráta je velmi malá (uvádí se 4% až 20% z měřené tlakové difference). Na rozdíl od clon a dýz potřebuje venturiho trubice znatelně menší přímé délky před primárním prvkem. Venturiho trubice má široké použití, lze ji použít i v agresivním prostředí (plyny, páry, kapaliny). [8] [3] [11]



obr. 4.3 Venturiho trubice [3]

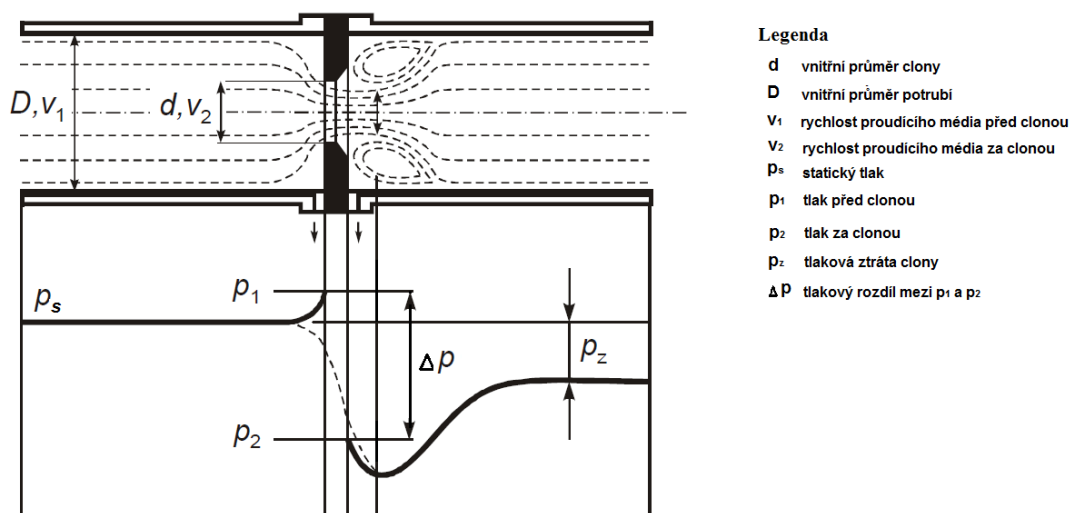
5 Clona

Obecně se dá říci, že clona je kruhová deska s kruhovým otvorem uprostřed vyrobená z vhodného materiálu (většinou kov), která je vložena do potrubí mezi příruby. Je používána pro měření průtoku přehřáté nebo syté páry, kapalin a plynů. Měření clonou je založeno na měření tlakové difference, která vzniká snímáním statických tlaků před a za zúžením a je závislá na velikosti průtoku. [2]

6 Princip měření clonou

Měření průtoku pomocí clony je metoda nepřímá, jelikož zde neměříme přímo průtok média. U clony je ukazatelem průtoku rozdíl tlaků mezi dvěma místy s vloženou clonou. Při měření s U-trubicí je ukazatelem průtoku ztrátová výška, kterou je možno poté přepočítat na tlakový rozdíl. Kapalina proudící potrubím má při průchodu clonou konstantní průtok jak před clonou tak i za ní, což má vlivem zúženého průřezu v cloně za následek zvýšení rychlosti proudícího média [8]. Spolu se zvyšující se rychlostí média dochází i k změnám stavových veličin média. Dochází ke vzniku vírů za clonou (viz obr. 6.1), které mají za následek zvýšení entropie proudícího média. Toto zvýšení entropie způsobuje trvalou tlakovou ztrátu na cloně p_z . [7]

Tato tlaková ztráta p_z představuje energii přeměněnou v teplo. Z toho důvodu považujeme tlakovou ztrátu p_z za hlavní provozní náklady měření clonou [9].



obr. 6.1 Průběhy tlaků při obtékání clony [9]

Na obr. 6.1 je zobrazen průběh tlaku a proudnic. Z obr. 6.1 vyplývá, že před clonou dochází k zužování proudnic, které dále pokračuje i za clonou, kde dochází ke vzniku vírů. Statický tlak p_s udává přetlak média před clonou vzhledem k atmosférickému tlaku. Tlaky média p_1 a p_2 jsou měřeny u stěn potrubí. Z průběhu tlaků znázorněných ve spodní části obr. 6.1 jsou tlustou čarou znázorněny tlaky u stěny potrubí a čárkovanou čarou jsou znázorněny tlaky v ose potrubí [9]. Objemový průtok lze vypočítat dle následujícího vzorce.

$$Q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (6.1)$$

Vzorec pro výpočet tlakové ztráty clony[8]

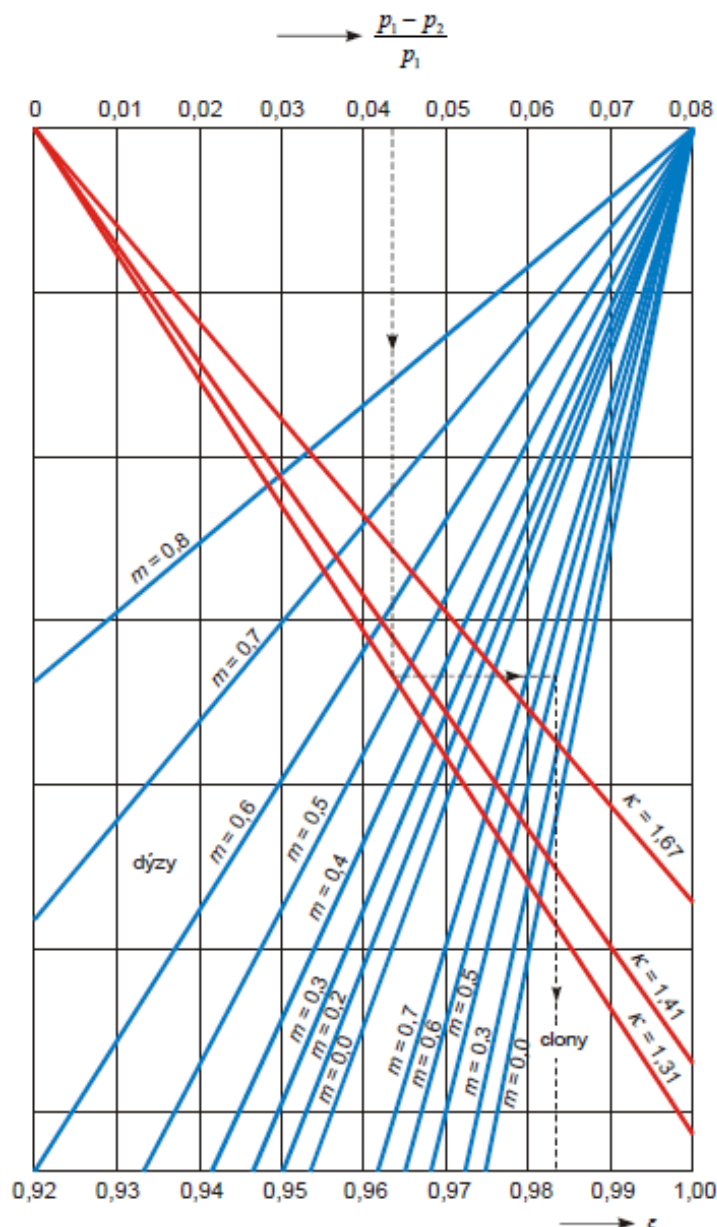
$$p_z = (1 - \beta^2) \cdot \Delta p \quad (6.2)$$

průtokový součinitel α

Zahrnuje v sobě všechny neidealities toku média clonou jako jsou např. poměr zúžení, tření v potrubí, tření ve škrtícím orgánu nebo zúžení proudu za clonou spojené s tvorbou vírů. Hodnota průtokového součinitele závisí hlavně na poměru zúžení β a Reynoldsově číslu Re . Nejčastěji se průtokový součinitel určuje pomocí tabulek a nomogramů. [8], [9], [2]

Expanzní součinitel ε

Udává poměry, ke kterým dochází při expanzi plynu na cloně. U kapalin je hodnota expanzního součinitele rovna jedné jelikož kapalinu považujeme za nestlačitelnou. Expanzní součinitel závisí hlavně na izoentropickém exponentu κ , na rozdílu tlaků před a za clonou, na hodnotě statického tlaku před clonou a na poměru zúžení β . expanzní součinitel se odečítá z nomogramů viz obr. 6.2. V grafu je poměr zúžení β zaměněn písmenem m . [8], [9], [2]

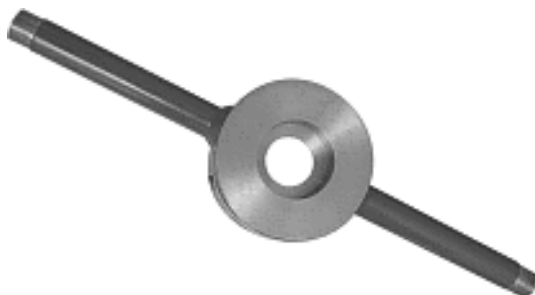


obr. 6.2 Nomogram pro výpočet expanzního součinitele [9]

7 Typy clon

7.1 Centrické clony

Centrickou clonou nazýváme takovou clonu, kde střed kruhového otvoru clony leží v ose potrubí. Tato clona je nejrozšířenější ze všech typů, jelikož je konstrukčně jednoduchá a přesně definována v normě ISO 5167. Clonu vkládáme mezi příruby do měřeného potrubí. Centrické clony mívají několik druhů odběrů tlaku. Pro příklad zde mám zobrazeny dva druhy odběru.[3]



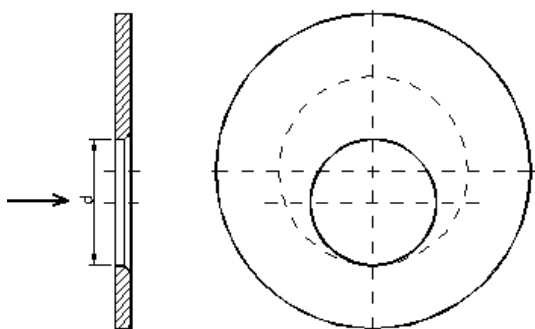
obr. 7.1 Centrická clona s bodovým odběrem[3]



obr. 7.2 Centrická clona s komorovým odběrem[3]

7.2 Excentrické clony

Excentrická clona je obdobou klasické clony, rozdíl je v tom, že otvor v clonovém kotouči je umístěn excentricky. Průtočný průřez tak máme umístěn ve spodní části měřeného potrubí a tím pádem je zde umožněno proudění nečistot nebo kondenzátu, který je v kapalině obsažen. Excentrické clony mají praktické využití v jaderném, chemickém a petrochemickém průmyslu, což jsou prostředí náročná na materiály, z tohoto důvodu se vyrábějí z nerezových ocelí a ocelí s vysokým obsahem niklu. [3]



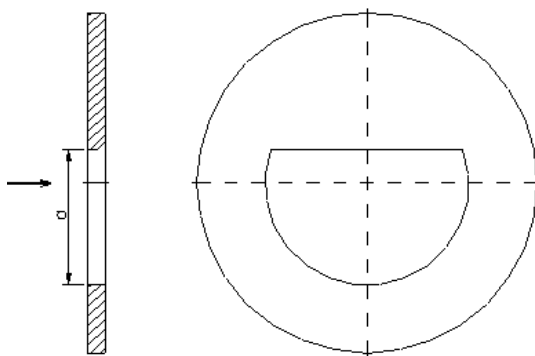
obr. 7.3 Schéma excentrické clony[3]



obr. 7.4 Excentrická clona[3]

7.3 Segmentové clony

Segmentové clony omezují průtočný průřez daného potrubí pomocí segmentu kruhu. Toto omezení se provádí pomocí desky s ostrou hranou, která je přímo vnořena do kruhového průřezu. Pokud orientujeme průtočný průřez do spodní části měřeného potrubí, pak umožníme proudění nečistot obsažených v kapalině. Segmentové clony se používají pro tekutiny, v kterých jsou obsaženy nečistoty nebo kondenzát. [3]



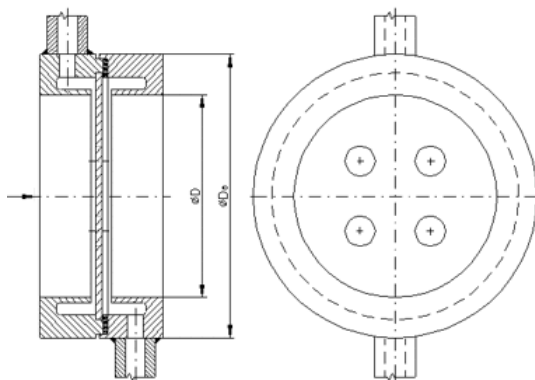
obr. 7.5 Schéma segmentové clony[3]



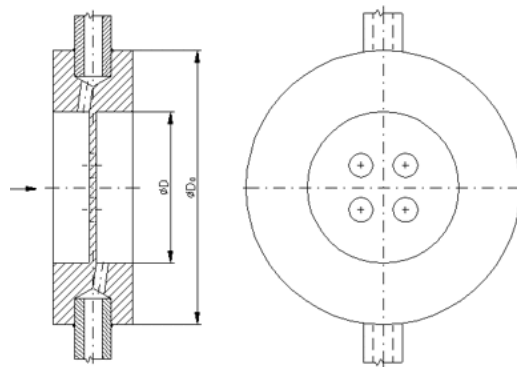
obr. 7.6 Segmentová clona[3]

7.4 Víceotvorové clony

Víceotvorové clony jsou obdobou clon centrických. Jejich hlavním rozdílem oproti centrickým clonám je to, že mají místo jednoho clonového otvoru vyrobeno více clonových otvorů. Měřené médium tedy prochází více otvory, což v porovnání s centrickou clonou snižuje požadavky na minimální přímé délky před a za clonou, které jsou důležité pro správnou funkci měřidla. Rozsah využití víceotvorové clony je omezen pouze součinitelem β . Hlavní předností vícetvorové clony je menší zástavná plocha. Vyrábějí se buď jako nerozebíratelné nebo jako rozebíratelné. [3]



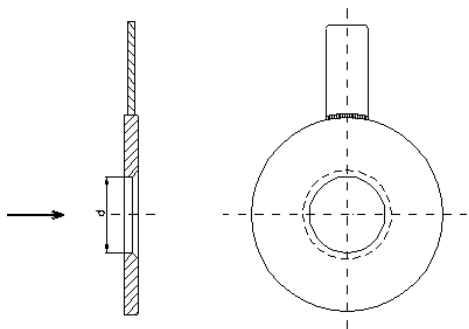
obr. 7.7 Víceotvorová clona rozebíratelná s vloženým clonovým kotoučem[3]



obr. 7.8 Víceotvorová clona nerozebíratelná[3]

7.5 Omezující clony

Omezující clona slouží jako hydraulický odpor. Podstata omezující clony spočívá v tom, že při stálém průtoku snižuje výstupní tlak za clonou na danou úroveň. Mohou být jednostupňové i vícestupňové (několik clon za sebou v kaskádě). Vícestupňové omezující clony se používají např. pro postupné snížení tlaku, k minimalizaci chvění nebo kavitace. [3]



obr. 7.9 Schéma omezující clony[3]



obr. 7.10 Vícestupňová omezující clona[3]

8 Konstrukce clony

Přední strana A

- Drsnost musí být dle normy $Ra < 10^{-4} d$
- Clonový kotouč musí být rovinný (při přiložení pravítka ke cloně může být mezera mezi pravítkem a clonou maximálně $0,005(D-d)/2$)

Zadní strana B

- Musí splňovat požadavek rovnoběžnosti a rovinnosti s přední stranou A
- Drsnost u zadní strany nemusí dosahovat drsnosti přední strany A (stačí vizuální prohlídka)

Tloušťka e

- Stanoví se libovolně v rozmezí $0,005D$ až $0,02D$
- Při měření nesmí být rozdíl mezi naměřenými $e > 0,001D$

Tloušťka E

- Obvykle se volí v rozmezí e až $0,05D$
- Pokud platí, že $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$, může být E až $3,2 \text{ mm}$
- Je-li $D \geq 200 \text{ mm}$ pak nesmí být rozdíly mezi hodnotami větší než $0,001D$

Úhel zkosení α

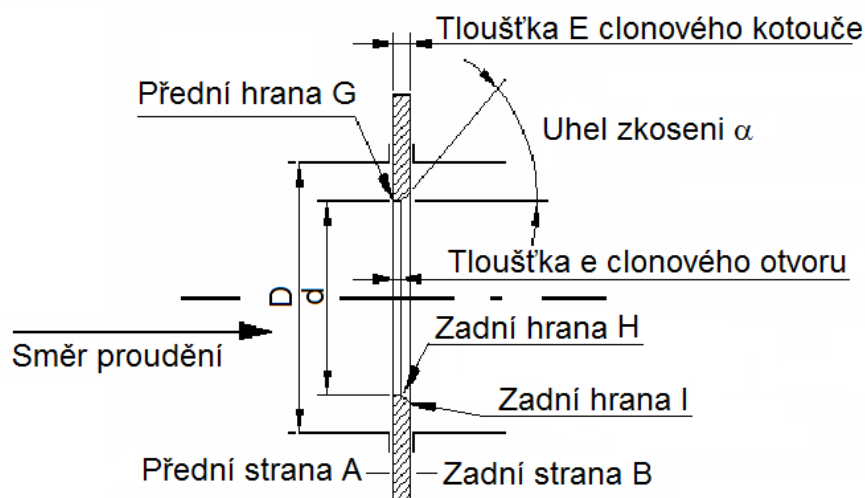
- Zkosení je umístěno na zadní straně clonového kotouče a musí být $45^\circ \pm 15^\circ$

Hrany G, H, I

- Hrana G musí být ostrá, maximální dovolený poloměr zaoblení je $0,0004d$ (je-li průměr $d > 25 \text{ mm}$ pak lze tuto podmínku provést vizuálně)
- Hrana G musí být svírat s čelní stranou clony úhel $90^\circ \pm 0,3^\circ$
- Hrany H a I se nacházejí v oblasti odtrženého proudu, z toho důvodu na ně neklademe tak přísné požadavky jako na hranu G

Průměr clony d

- Průměr clony musí $d \geq 12,5 \text{ mm}$
- Poměr mezi průměry clony β musí být v daných mezích $0,75 \geq \beta \geq 0,1$
- $\beta = \frac{d}{D}$



obr. 8.1 řez clonou [4]

Oboustranné clony

- Oboustranná clona nesmí být zkosená, musí oboustranně vyhovovat požadavkům na přední stranu A a hranu G

Materiál clony

Vzhledem k tomu, že clona bude pracovat v kapalném prostředí, je třeba vhodně volit materiál, z kterého bude vyroben. Obecně platí, že to může být jakýkoliv materiál, který bude při měření splňovat předešlé požadavky. [4]

9 Odběr tlaku

9.1 Všeobecné podmínky

U každé clony musíme mít alespoň jeden odběr tlaku před clonou a alespoň jeden odběr tlaku za clonou. Tyto odběry mohou být normalizované a umístěny ve vzdálenosti D a $D/2$, v přírubách, nebo můžeme mít koutový odběr. Pokud použijeme u clony více odběrů, např. z důvodu použití více clonových měřidel, musí být tyto odběry od sebe vzájemně pootočený minimálně o 30° aby nedocházelo k vzájemnému rušení. [4]

9.2 Clona s odběry ve vzdálenostech D a $D/2$ nebo s přírubovým odběrem:

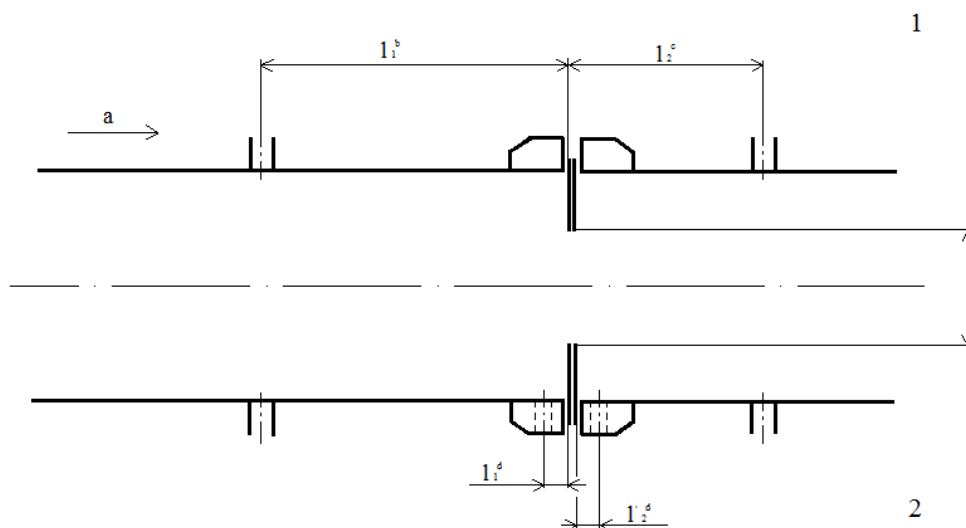
Vzdálenost odběrů tlaku l se definuje jako vzdálenost mezi rovinnou příslušné strany a osou odběru. Do této vzdálenosti se musí opomenout započítat tloušťky těsnících materiálů, které jsou mezi clonou a odběrem použity. U clon kde jsou odběry tlaku vzdáleny D a $D/2$ bude vzdálenost předního odběru l_1 rovna D . U předního odběru jsou stanoveny meze $0,9D$ až $1,1D$, přičemž nedojde ke změně součinitele průtoku. Vzdálenost zadního odběru l_2 je rovna $0,5D$. Její meze jsou pro $\beta \leq 0,6$ dány od $0,48D$ do $0,52D$, a pro $\beta > 0,6$ jsou od $0,49D$ do $0,51D$. Dané vzdálenosti l_1 a l_2 musí být měřeny od čelní strany clony.

Při použití přírubových odběrů je vzdálenost l_1 jmenovitě $25,4\text{mm}$ a tato vzdálenost se měří od přední strany clony. Zadní odběr l'_2 má taktéž jmenovitou vzdálenost $25,4\text{ mm}$ a jeho vzdálenost se měří od zadní strany clony. Pokud budou obě vzdálenosti l_1 a l'_2 v následujících mezích, pak nedojde ke změně součinitele průtoku. Pokud je $b > 0,6$ a $D <$

150 mm pak dostaneme toleranci $\pm 0,5$ mm. Neplatí-li předešlá podmínka pak je tolerance rovna ± 1 mm. Odběr tlaku musí svírat s osou potrubí úhel $90^\circ \pm 3^\circ$.

Odběr musí mít kruhový otvor. Vnitřní stěna potrubí a hrany odběru musí lícovat a být co nejostřejší, je zde možno mít zaoblení, které však nesmí být větší než jedna desetina průměru odběru. Ve spojovacím otvoru ani jeho okolí nesmí být nepravidelnosti.

Tlakový odběr musí mít průměr menší než $0,13D$ a zároveň může mít maximální průměr 13 mm. Tyto odběry musí být válcové a kruhové s délkou minimálně 2,5 násobku vnitřního odběru clony, přičemž se tato vzdálenost měří od vnitřní stěny potrubí. Osy odběrů se běžně umísťují do stejné axiální roviny, ale je zde možno je umístit v různých axiálních rovinách. [4]



Legenda

- 1 odběry tlaku ve vzdálenostech D a $D/2$
- 2 přírubové odběry
- a směr proudění
- l_1^b přední odběr u odběru tlaku ve vzdálenosti D a $D/2$
- l_2^c zadní odběr u odběru tlaku ve vzdálenosti D a $D/2$
- l_1^d přední odběr u bodového odběru tlaku
- l_2^d zadní odběr u bodového odběru tlaku

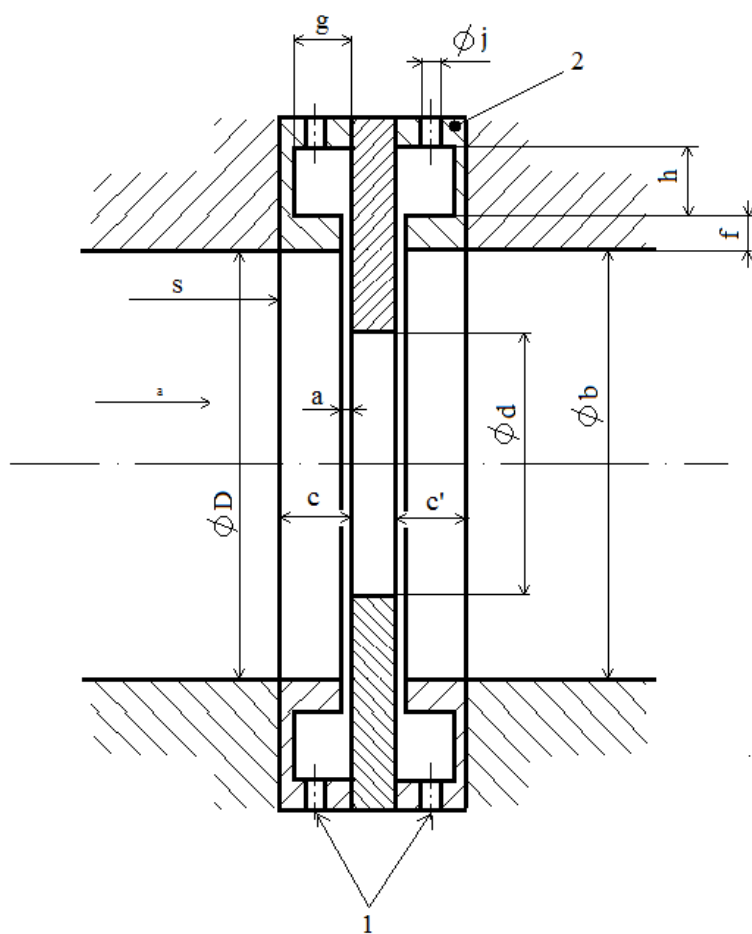
obr. 9.1 Odběry ve vzdálenostech D a $D/2$, přírubový odběr [4]

9.3 Clony s koutovými odběry

Vzdálenosti mezi stranami clony a osami odběrů tlaků jsou rovny polovině šířky tlakových odběrů nebo polovině jejich šířky tzn., že otvory odběru lícují s danou stranou clony. V případě koutových odběrů můžeme mít buď odběry šterbinové, nebo bodové.

Každopádně oba tyto odběry můžeme umístit do potrubí nebo jeho přírub, popřípadě do prstencových komor.

Při použití prstencové komory musí být splněny určité podmínky. Osa odběru musí svírat s osou potrubí úhel 90° . Prstencová štěrбина tvoří nejčastěji průnik do měřeného potrubí celým svým obvodem. Pokud tomu tak není, tak se musí všechny prstencové komory spojit s potrubím, a to alespoň čtyřmi otvory. Dané otvory musí mezi sebou svírat stejné úhly. Plocha každého spojovacího otvoru musí mít alespoň 12 mm^2

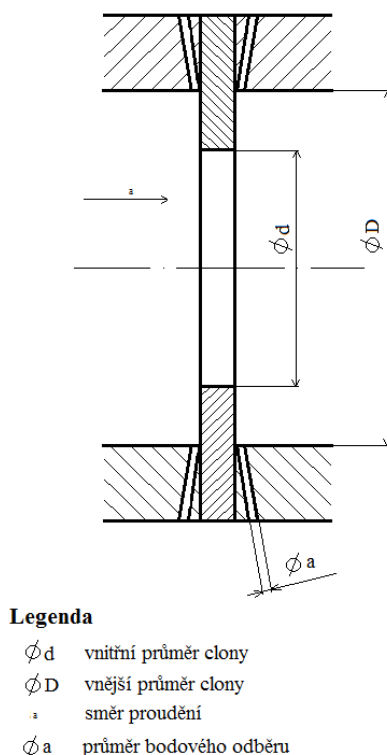


Legenda

1	odběr tlaku	a	šířka prstencové štěrbin
2	komorový prstenec	f	hloubka štěrbin
g,h	rozměry prstencové komory	φb	průměr komorového prstence
φj	průměr komorového odběru tlaku	φd	vnitřní průměr clony
s	vzdálenost od předního osazení ke komorovému prstenci	φD	vnější průměr clony
c	délka předního prstence	a	směr proudění
		c'	délka zadního prstence

obr. 9.2 Komorový odběr s prstencovou štěrbinou [4]

Je zde určen specifický průměr a bodového odběru a také šířka a prstencové štěrbin. Tato velikost je určena jako minimální z praktické potřeby předejít ucpání a mít dobré dynamické vlastnosti. Pokud máme čisté tekutiny a páry, tak pro $\beta \leq 0,65$ musí a nabývat těchto hodnot $0,005D \leq a \leq 0,03D$, pro $\beta > 0,65$ musí a nabývat těchto hodnot $0,01D \leq a \leq 0,02D$. Oba odběry tlaků, tzn. přední i zadní odběr musí mít stejný průměr, ale nemusí být navzájem souměrné.



obr. 9.3 Bodový odběr [4]

Vnitřní průměr prstencové komory b musí být větší nebo roven průměru D , a to z důvodu aby bylo zajištěno, že komory nebudou zasahovat do potrubí. Průměr komory musí být menší nebo roven $1,04D$. Hloubka štěrbin $f \geq 2a$, plocha průřezu gh musí být větší nebo rovna jedné polovině celkové plochy otvoru, která spojuje měřené potrubí s komorou. Instalované odběry tlaků, které spojují prstencovou komoru se sekundárními prvky, musí mít kruhové otvory o průměru $j=4$ až 10 mm. [4] Štěrbinová komora musí splňovat podmínku vyjádřenou vztahem:

$$\frac{b - D}{D} \cdot \frac{c}{D} \cdot 100 < \frac{0,1}{0,1 + 2,3\beta^4} \quad (9.1)$$

10 Požadavky na zabudování

10.1 Všeobecné podmínky ISO 5167-1

Clona musí být umístěna mezi dvěma přímými úseky potrubí o válcovitém průměru, které také odpovídají specifickým podmínkám pro minimální délky. V těchto minimálních délkách se nesmějí vyskytovat žádné překážky nebo odbočení vyjma těch uvedených v kapitole 6.2. Aby bylo možno považovat potrubí za přímé, tak by odchylka potrubí od přímé čáry neměla přesahovat 0,4% délky potrubí. Tuto odchylku stačí zkontrolovat pouhou vizuální prohlídkou. V případě, že do přímých úseků je vložena příruba, musí se vyrovnat tak, aby opět nebyla odchylka od přímé čáry větší jak 0,4%.

Použité potrubí musí mít v dané minimální délce kruhový průřez. Kruhovitost se uvěřuje vizuální prohlídkou. V případě že je v přímém úseku použita švová trubka, musí být její vnitřní šev situován rovnoběžně s osou potrubí po celé délce. Je-li použita prstencová šterbina, tak je poloha švu vůči odběru tlaku nevýznamná. Pokud je ale použit jakýkoliv jiný odběr, nesmí být šev trubky situován v žádném úseku $\pm 30^\circ$ od středu odběru bodového tlaku. Nachází-li se v potrubí jakékoliv šupinky kovů nebo jiné vady, musejí být z potrubí odstraněny. Potrubí musí být čisté bez jakýchkoliv nečistot.

V potrubí je povoleno mít umístěny odkalovací a odvětrávací otvory, které jsou používány pro odstranění usazenin a jiných tekutin než je měřená tekutina. Odvětrávací a odkalovací otvory by se měly umístit dále od primárního prvku. Nelze-li z nějakého důvodu umístit tyto otvory dále od primárního prvku musí být průměry těchto otvorů menší než $0,08D$ a v přímé vzdálenosti větší než $0,5D$. Osy odběrů tlaku a odkalovacích a odvětrávacích otvorů musí spolu svírat úhel minimálně 30° vzhledem k ose potrubí. [5]

10.2 Požadované minimální přímé délky před a za clonou

Minimální požadované délky přímého potrubí před a za clonou při použití určitých tvarovek jsou uvedeny v tab. 10.1. Tyto hodnoty se musí brát jako minimální možné pokud není použit usměrňovač proudění, je doporučeno tyto hodnoty pro minimalizaci nejistoty měření zdvojnásobit. Pokud hodnota přímé délky před nebo za clonou menší než hodnota uvedená ve sloupci A, a zároveň je větší nebo rovna hodnotě ve sloupci B, pak musíme aritmeticky přičíst nejistotu 0,5% k nejistotě součinitele průtoku C . [4]

Strana před clonou (vstup)														Strana za clonou (výstup)												
poměr průměrů β	Jednoduché koleno 90°	Dvě kolena 90° v téže rovině: 5 - uspořádání (30D ≥ S > 10D) ^a	Dvě kolena 90° v téže rovině: 5 - uspořádání (10D ≥ S) ^a	Dvě kolena 90° v kolmých rovinách (30D ≥ S ≥ 5D) ^a	Dvě kolena 90° v kolmých rovinách (5D > S) ^{a,b}	Jednoduchý T kus 90° s nástavcem nebo bez nástavce Koleno 90° spoj na pokos	Jednoduché koleno 45°, dvě kolena 45° v téže rovině: 5 uspořádání (S ≥ 2D) ^a	Soustředné zúžení potrubí ze 2D na D v délce 1,5D až 3D	Soustředné rozšíření potrubí ze 0,5D na D v délce D až 2D	Zcela otevřený kulový kohout nebo zcela otevřeně šoupě	Náhle symetrické zúžení potrubí	Teploměřová jímka nebo trubice ° o průměru ≤ 0,03D ^d	Tvarovky (sloupce 2 až 11) a jímka hustoměru													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14												
	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f												
≤ 0,20	6	3	10	^g 10	^g 19	18	34	17	3	^g 6	^g 7	^g 5	6	30	15	5	3	4	2							
0,40	16	3	10	^g 10	44	18	50	25	9	3	30	^g 5	^g 12	8	30	15	5	3	6	3						
0,50	22	9	18	10	22	10	44	18	75	34	19	9	30	18	8	5	20	9	12	6	30	15	5	3	6	3
0,60	42	13	30	18	42	18	44	18	65 ^h	25	29	18	30	18	9	5	26	11	14	7	30	15	5	3	7	3,5
0,67	44	20	44	18	44	20	44	20	60	18	36	18	44	18	12	6	28	14	18	9	30	15	5	3	7	3,5
0,75	44	20	44	18	44	22	44	20	75	18	44	18	44	18	13	8	36	18	24	12	30	15	5	3	8	4

Poznámka 1 Požadované minimální přímé délky jsou délky mezi různými tvarovkami umístěnými před nebo za clonou a samotnou clonou. Přímé délky se musí měřit od zadního konce nebo zakřivené části nejbližšího (nebo samostatného) kolena nebo T kusu nebo k zadnímu konci zakřivené nebo kuželovité části zúžení nebo rozšíření potrubí.

Poznámka 2 Většina kolien, na nichž jsou délky v této tabulce založeny, měla poloměr zakřivení rovný 1,5D

a	S je vzdálenost mezi dvěma koleny měřená od zadního konce zakřivené části předního kolena k přednímu konci zakřivené části zadního kolena.
b	Toto není správné zabudování na nátokové straně, kde je to možné, měl by se použít usměrňovač proudění.
c	Zabudování teplotěrových jímek nebo trubic nezmení požadované minimální přímé délky před clonou pro ostatní tvarovky.
d	Je přípustné zabudovat teplotěrové jímky nebo trubice o průměru mezi 0,03D a 0,13D za předpokladu, že se hodnoty ve sloupcích A a B zvětšují k 20, resp. 10. Avšak takového zabudování se nedoporučuje.
e	Sloupec A pro každou tvarovku udává délky odpovídající hodnotám "nulové přídavné nejistoty".
f	Sloupec B pro každou tvarovku udává délky odpovídající hodnotám "0,5 % přídavné nejistoty".
g	Přímá délka ve sloupci A udává nulovou přídavnou nejistotu; nejsou k dispozici údaje pro kratší přímé délky, které by mohly být použity, aby daly požadované přímé délky pro sloupec B.
h	95D se požaduje pro $R_{ep} > 2 \times 10^6$, pokud $S < 2D$.

tab. 10.1 Potřebné délky pro zabudování clony bez usměrňovače proudění (hodnoty uvedené v tabulce jsou násobky D) [4]

11 Návrh měřicí trati pro cejchování

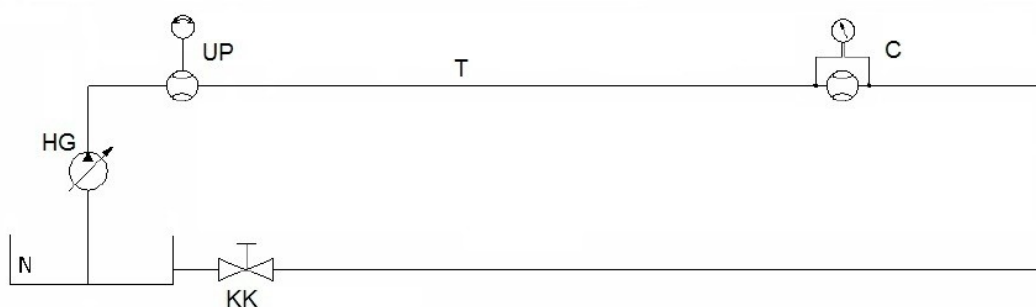
Tato trať je navržena pro cejchování clony a také pro provádění kontrolních měření již ocejchovaných clon. Její parametry a délky před a za clonou jsou zvoleny na základě příslušných předpisů normy ČSN ISO 5167.

11.1 Popis měřicí tratě

Měřicí trať, která je určena pro cejchování clony se skládá z následujících prvků. Plastové nádrže **N** vyrobené z plexiskla, dále pak vede z nádrže plastové potrubí **T**, které má v celém obvodu konstantní průměr. Potrubí je napojeno k čerpadlu **HG**, které je regulační a tudíž zde můžeme nastavovat různé průtoky.

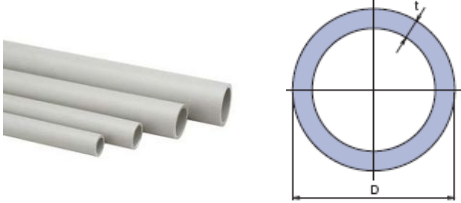
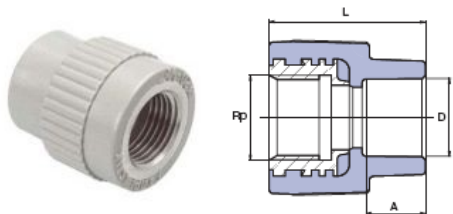
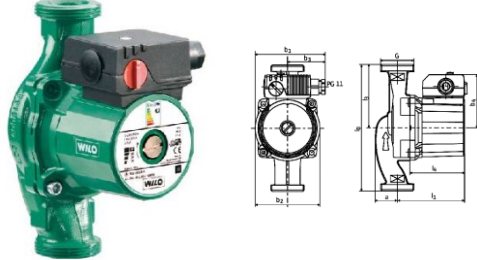
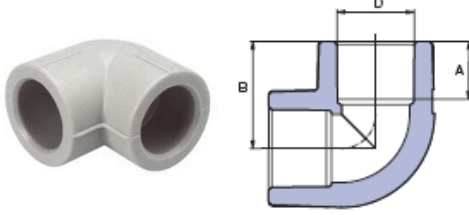
Z hydrogenerátoru **HG** vede potrubí do ultrazvukového průtokoměru **UP**, z něhož získáváme okamžitou hodnotu průtoky, dle jeho provedení může obsahovat i výstup umožňující zápis hodnot přímo do počítače. Potrubí **T** vedoucí z ultrazvukového průtokoměru **UP** k cloně **C** má délku 1200 mm. Tuto délku jsem zvolil dle tab. 10.1 tak, aby při použití jakékoliv normované clony bylo zajištěno uklidnění proudící kapaliny a nemuselo být použito usměrňovače proudění.


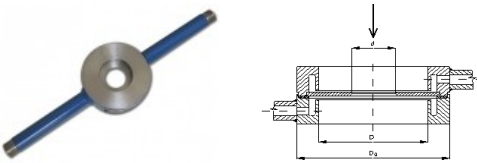
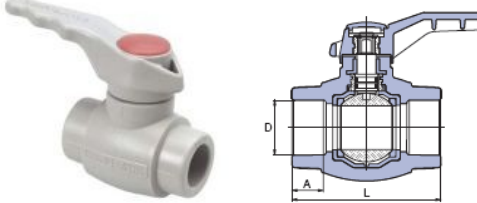
Samotná clona **C** je provedena jako centrická clona s komorovým odběrem tlakové difference. Tato tlaková difference se v obvodě měří pomocí U trubice. Potrubí vedoucí od clony má v přímém úseku délku 200 mm. Zpětné vedení potrubí **T** vede ke kulovému kohoutu **KK**, jehož uzavíráním nebo otevíráním se plynule reguluje velikost průtoky v měřicí trati.



obr. 11.1 Schéma měřicí tratě pro cejchování clony

11.2 Specifikace použitých prvků v obvodu

<p>Nádrž (N)</p> <p>Rozměry nádrže: 350 x 350 x 350 mm</p> <p>Objem nádrže: 43 dm³</p>	
<p>Potrubi (T)</p> <p>Typ: STR032P20X</p> <p>Vnější průměr: 32 mm</p> <p>Vnitřní průměr: 21,2 mm</p> <p>Výrobce: WAVIN Ekoplastik, s.r.o.</p>	
<p>Přechodka</p> <p>Typ: SZI03232OK</p> <p>Vnitřní průměr: 32 mm</p> <p>Vnitřní závit: 1"</p> <p>Výrobce: WAVIN Ekoplastik, s.r.o.</p>	
<p>Čerpadlo (HG)</p> <p>Typ: Star-RS 25/4</p> <p>Maximální provozní tlak: 10 kPa</p> <p>Otáčky: 1200/1650/2000 ot.min⁻¹</p> <p>Výrobce: WILO</p>	
<p>Koleno 90°</p> <p>Typ: SKO03290XX</p> <p>Vnitřní průměr: 32 mm</p> <p>Výrobce: WAVIN Ekoplastik, s.r.o.</p>	

<p>Ultrazvukový průtokoměr (UP):</p> <p>Typ: SONOELIS SE4062</p> <p>Jmenovitá světlost: 32 mm</p> <p>Jmenovitý tlak: 16 kPa</p> <p>Teplota měřené kapaliny: 0 ÷ 150 °C</p> <p>Přesnost měření: ±0,5 % pro $v > 0,5$ m/s</p> <p>Výrobce: ELIS Plzeň</p>	
<p>Clona (C)</p> <p>Vnitřní průměr clony: 14 mm</p> <p>Vnitřní průměr potrubí: 21,2 mm</p>	
<p>U trubice</p>	
<p>Kulový kohout (KK)</p> <p>Typ: SVEK032XXX</p> <p>Vnitřní průměr: 32 mm</p> <p>Výrobce: WAVIN Ekoplastik, s.r.o.</p>	

Návrh čerpadla (HG)

Čerpadlo pro tuto trať bylo navrženo na základě energetické bilance systému. Z energetické bilance jsem získal hodnotu potřebné měrné energie pro dopravu požadovaného množství kapaliny. Veškerá měrná energie bude spotřebována na překonání ztrát v obvodu. Přepočtem z měrné ztrátové energie jsem získal dopravní výšku, kterou jsem spolu s objemovým průtokem zadal do online katalogu Wilo a zvolil zde čerpadlo Wilo Star-RS 25/4. Jelikož použití clony vyžaduje $Re > 5000$ zvolil jsem maximální objemový průtok $2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Při tomto průtoku a dané světlosti potrubí bude $Re = 33368$, což je dostatečné pro použití clony. Minimální objemový průtok Q_v , při němž je clonu v tomto obvodu možno použít je $0,3 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$.

12 Vyhodnocení měření

V této kapitole je popsáno vyhodnocení měření, kterým byly naměřeny veškeré hodnoty obsažené v této práci. Pro měření průtoku byl použit ultrazvukový průtokoměr FLOMIC FL 1014 a takto získané hodnoty byly ještě doplněny měřením pomocí objemové metody (viz kapitola 3.2). Ze zadání taktéž vyplývá, že clony mají být proměřeny pro různé otáčky čerpadel. Z naměřených hodnot vyplynulo, že snížením otáček dojde pouze ke zkrácení cejchovní křivky a tak pro různé otáčky bylo proměřeno pouze několik standů (viz kapitola 13.1).

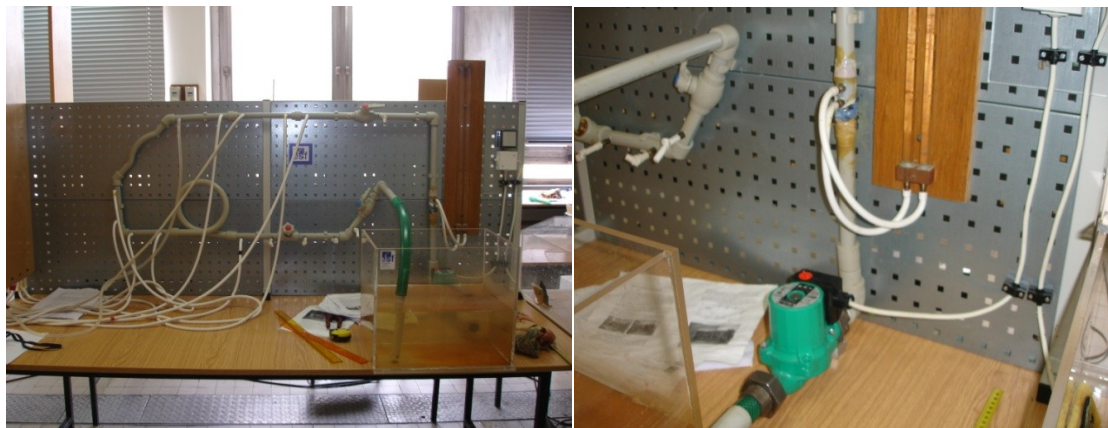
12.1 Postup měření

- 1) Zkontrolujeme, zda jsou všechny odběry tlaku řádně připojeny a utěsněny.
- 2) Čerpadlo (HG) viz obr. 11.1 nastavíme na maximální otáčky, otevřeme kulový kohout a poté zapneme čerpadlo.
- 3) Než začneme měřit, necháme chvíli proudit obvodem kapalinu, aby došlo k vytlačení veškerého volného vzduchu z obvodu, který je nežádoucí.
- 4) Zapišeme naměřenou hodnotu rozdílu hladin Δh_c na U-trubici a příslušnou hodnotu průtoku Q_v z průtokoměru. V případě měření objemovou metodou zapišeme dobu výtoku t , objem V a hodnotu průtoku poté dopočítáme.
- 5) Snížíme hodnotu průtoku pomocí kulového ventilu, který částečně přivřeme a opět zapišeme hodnoty Δh_c a Q_v , popřípadě t , V .
- 6) Tento postup opakujeme minimálně desetkrát, až po úplné uzavření kulového kohoutu.

13 Naměřené hodnoty

13.1 Měření místních ztrát na vodní trati

Tento stand slouží k měření místních ztrát různých prvků použitých v obvodu. Na tomto standu jsem ocejchoval clonu.

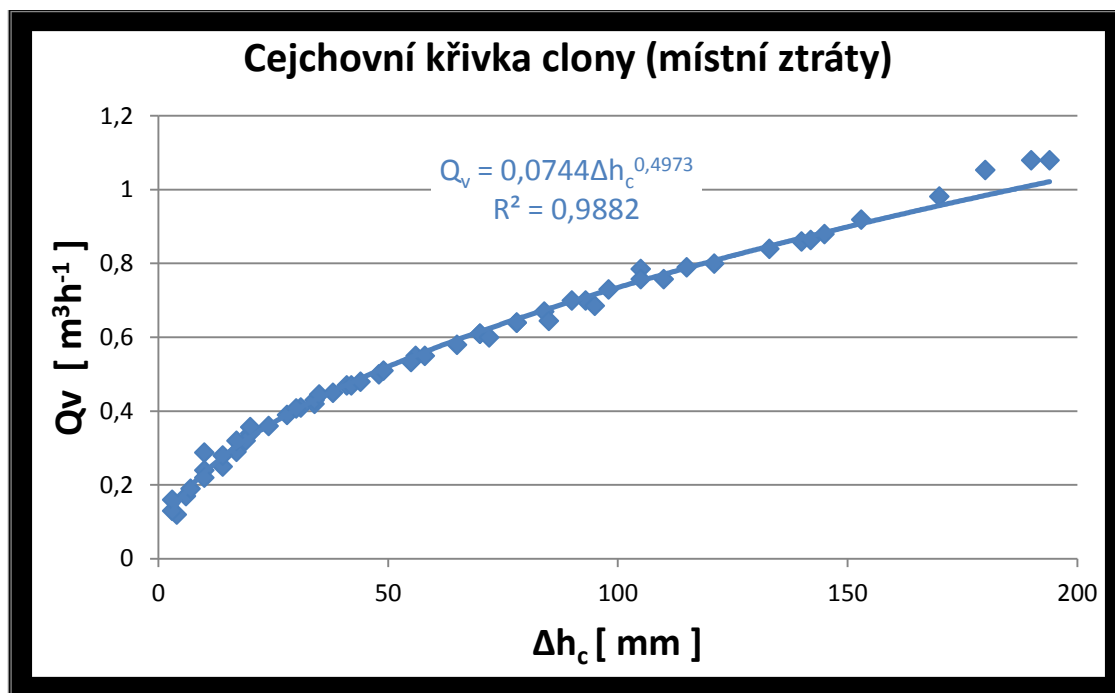


obr. 13.1 Měřicí stand pro měření místních ztrát na vodní trati

Vyhodnocení měření

n = 2000 ot.min ⁻¹				
Měření	Naměřené a vypočítané hodnoty			
	Δh_c [mm]	t [s]	Q_v [m ³ h ⁻¹]	δ_m [%]
1	145	-	0,88	0,85
2	140	-	0,86	0,87
3	133	-	0,84	0,90
4	115	-	0,79	1,00
5	98	-	0,73	1,14
6	93	-	0,70	1,19
7	78	-	0,64	1,38
8	70	-	0,61	1,51
9	56	-	0,55	1,85
10	48	-	0,50	2,14
11	41	-	0,47	2,49
12	28	-	0,39	3,61
13	20	-	0,34	5,02
14	17	-	0,29	5,90
15	10	-	0,24	10,01
16	6	-	0,17	16,67
17	4	-	0,12	25,00
18	194	4,0	1,08	0,72
19	190	4,0	1,08	0,73
20	180	4,1	1,05	0,75
21	170	4,4	0,98	0,77
22	153	4,7	0,92	0,82
23	142	5,0	0,86	0,86
24	121	5,4	0,80	0,97
25	105	5,5	0,79	1,08
Průměrná δ_m				3,53

Další naměřená data viz Příloha A



Vzorový výpočet pro 18. měření

Výpočet objemového průtoku Q_v

Výpočet provádíme pro hodnoty naměřené objemovou metodou. V tomto případě jsem měřil dobu výtoku kapaliny t do odměrného válce. Měřený objem byl vždy 1200 ml, což je $0,0012 \text{ m}^3$.

$$Q_v = \frac{V}{t} \cdot 3600 = \frac{0,0012}{4} \cdot 3600 = 1,08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Výpočet chyby měření

Výpočet se skládá z relativní chyby měření vzniklé při odečítání Δh_c pravítkem a chyby průtokoměru která je dle údajů výrobce 0,5%.

Relativní chyba

ΔM je maximální absolutní chyba přístroje, což v případě pravítka znamená 1 mm

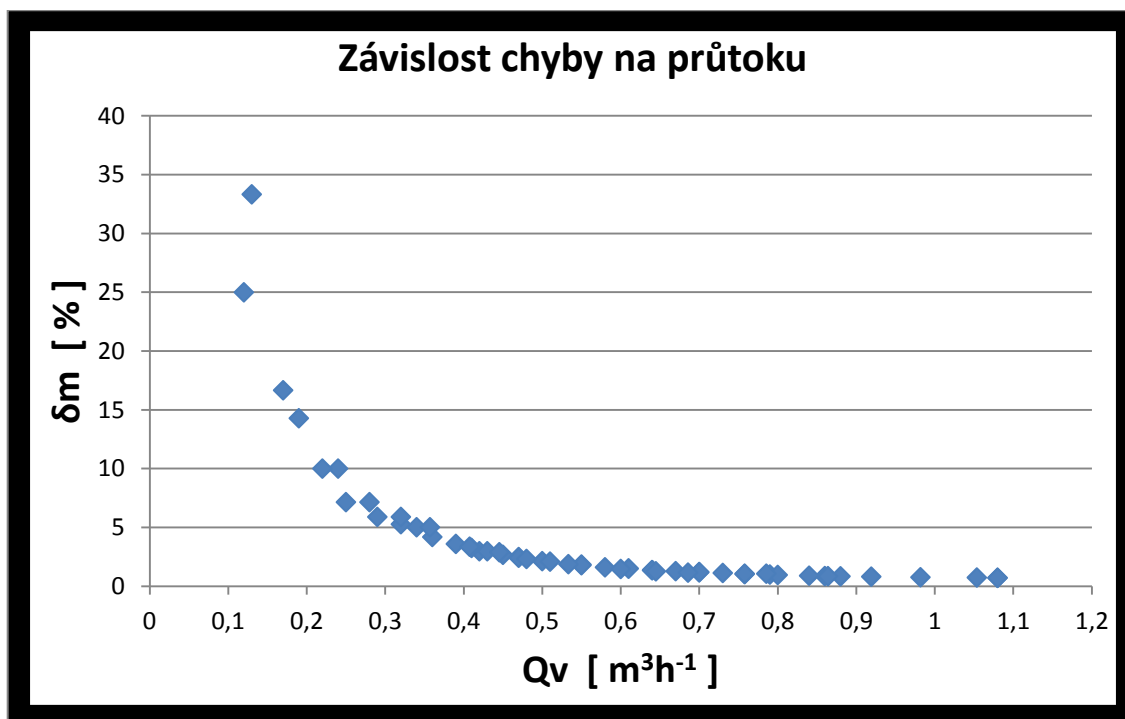
$$\delta_r = \frac{|\Delta M|}{X} \cdot 100 = \frac{1}{194} \cdot 100 = 0,52\%$$

Chyba průtokoměru

Dle technické dokumentace má přístroj FLOMIC FL 1014 chybu měření 0,5%

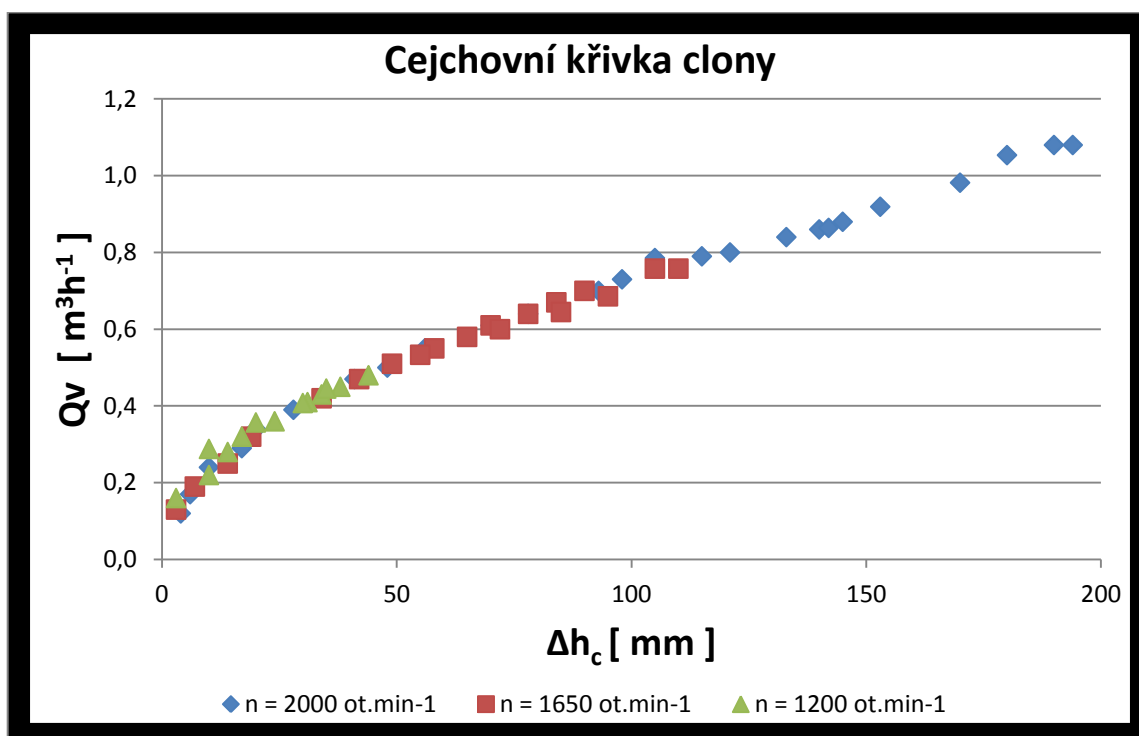
Celková chyba

$$\delta_m = \sqrt{\delta_r^2 + 0,5^2} = 0,72\%$$



Z grafu vyplývá, že s klesajícím průtokem enormně roste chyba měření. Proto je vhodné měřit průtok do hodnoty $0,4 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Nižší hodnoty průtoku jsou zatíženy chybou větší než 4%.

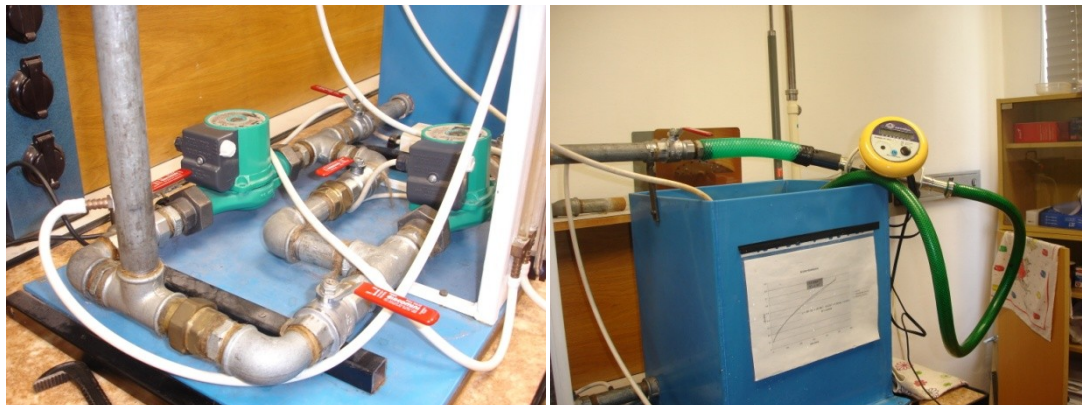
Závislost průtoku na ztrátové výšce pro různé otáčky čerpadla



Z grafu vyplývá, že při změně otáček dochází pouze ke zkrácení nebo prodloužení cejchovní křivky. Proto stačí veškeré standby proměřit jen pro maximální otáčky čerpadel.

13.2 Měření spolupráce čerpadel

Na tomto standu se měří paralelní a sériová spolupráce čerpadel, přičemž se zjišťují změny charakteristik čerpadel, tzn. závislosti měrné energie na objemovém průtoku. Na tomto standu jsem ocejšoval clonu.

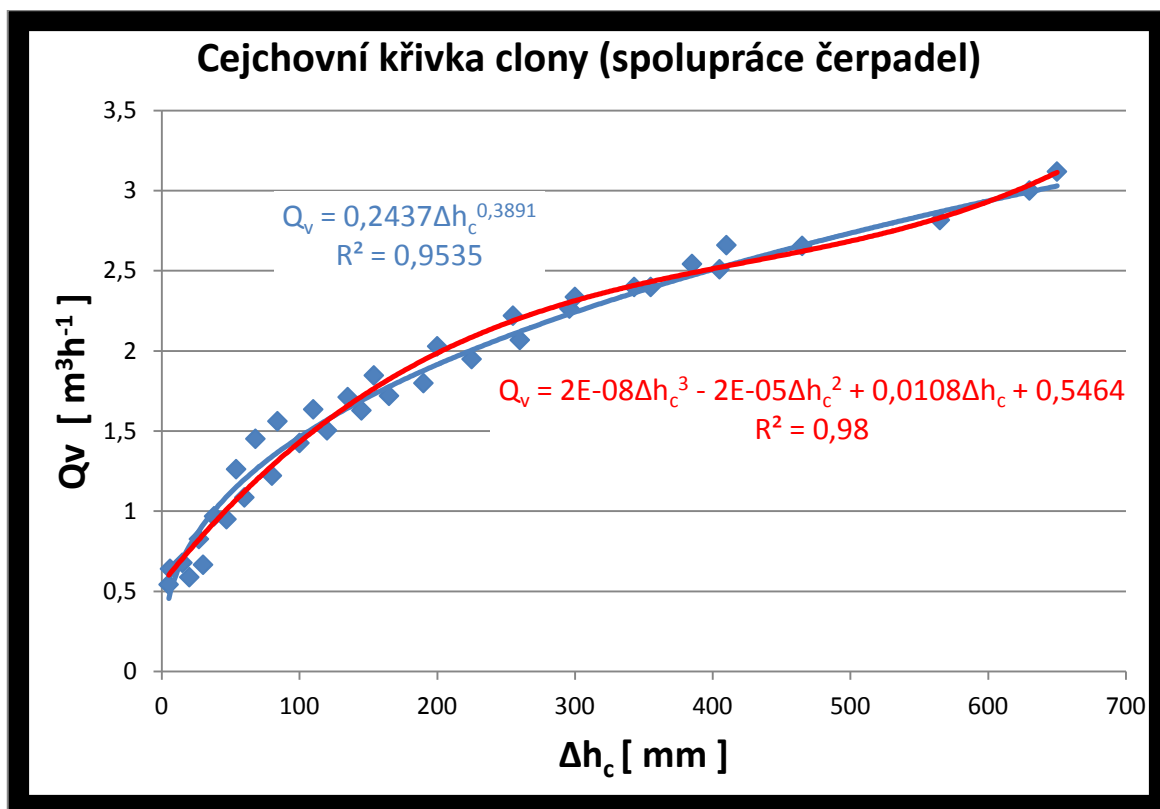


obr. 13.2 Stand pro měření spolupráce čerpadel

Vyhodnocení měření

paralelní zapojení				
n = 2000 ot.min ⁻¹				
Měření	Naměřené a vypočítané hodnoty			
	Δh_c [mm]	t [s]	Q_v [m ³ h ⁻¹]	δ_m [%]
1	300	-	2,34	0,60
2	255	-	2,22	0,64
3	200	-	2,03	0,71
4	154	-	1,85	0,82
5	135	-	1,71	0,89
6	110	-	1,64	1,04
7	84	-	1,56	1,29
8	68	-	1,45	1,55
9	54	-	1,26	1,92
10	38	-	0,97	2,68
11	27	-	0,83	3,74
12	15	-	0,68	6,69
13	6	-	0,64	16,67
14	650	1,38	3,12	0,52
15	630	1,44	3,00	0,52
16	565	1,53	2,82	0,53
17	465	1,63	2,66	0,54
18	405	1,72	2,51	0,56
19	343	1,80	2,40	0,58
Průměrná δ_m				2,24

Další naměřená data viz Příloha B



13.3 Měření charakteristiky čerpadla A

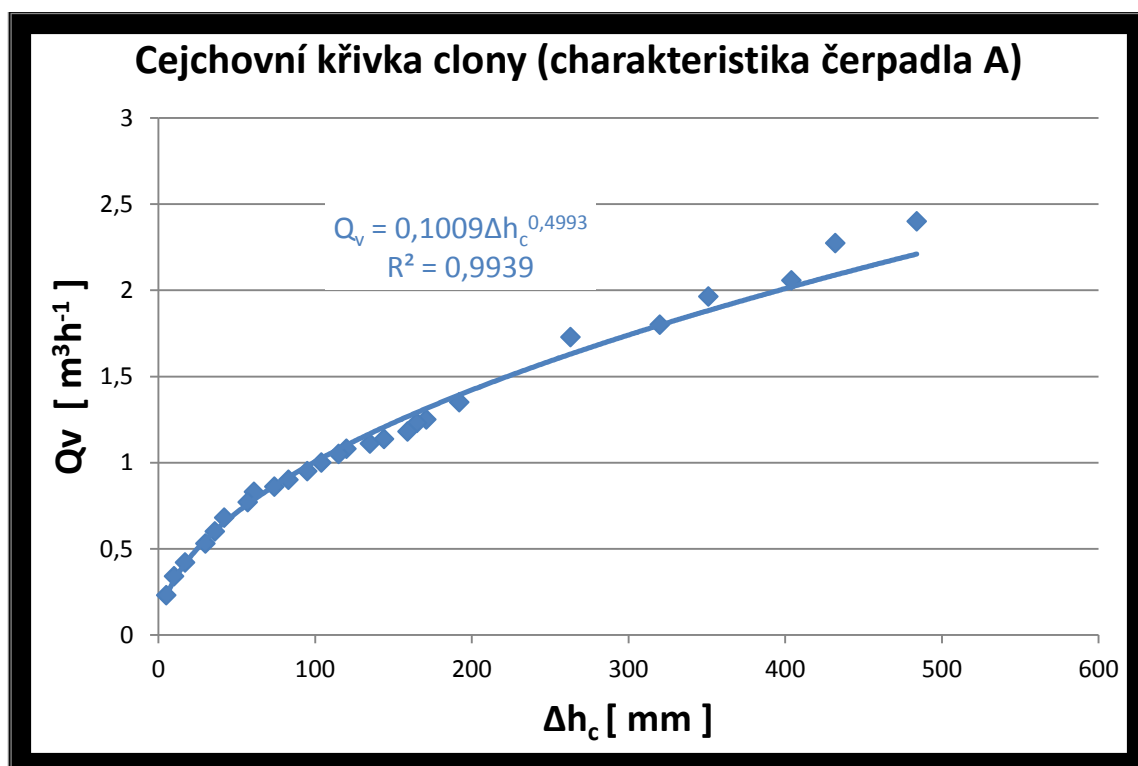
Na tomto standu se měří charakteristiky čerpadla. Výstupem z tohoto standu je závislost měrné energie na průtoku. Na tomto standu jsem ocejchoval clonu.



obr. 13.3 Stand pro měření charakteristiky čerpadla A

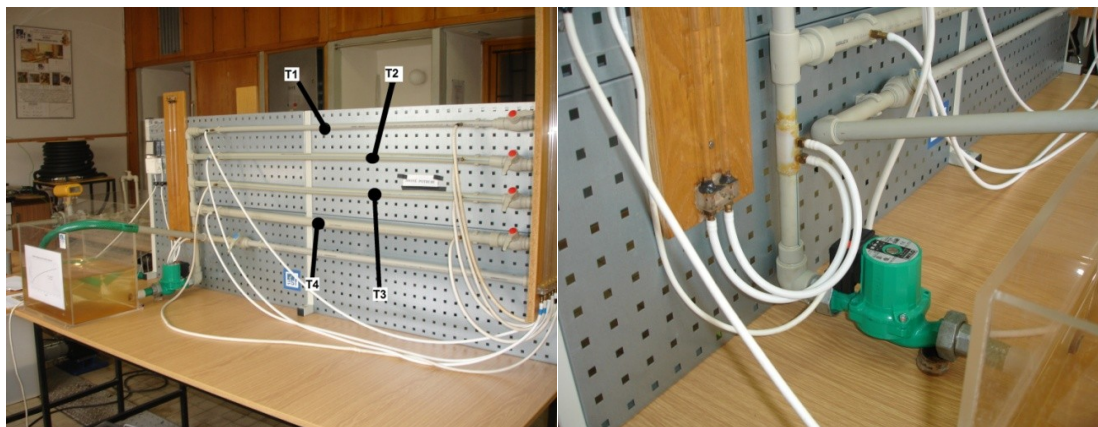
Vyhodnocení měření

n = 1800 ot.min ⁻¹				
Měření	Naměřené a vypočítané hodnoty			
	Δh_c [mm]	t [s]	Q_v [m ³ h ⁻¹]	δ_m [%]
1	171	-	1,25	0,77
2	165	-	1,23	0,79
3	159	-	1,18	0,80
4	135	-	1,11	0,89
5	120	-	1,08	0,97
6	115	-	1,05	1,00
7	104	-	1,00	1,08
8	95	-	0,95	1,17
9	83	-	0,90	1,30
10	74	-	0,86	1,44
11	61	-	0,83	1,71
12	57	-	0,77	1,82
13	42	-	0,68	2,43
14	36	-	0,60	2,82
15	30	-	0,53	3,37
16	17	-	0,42	5,90
17	10	-	0,34	10,01
18	5	-	0,23	20,01
19	484	1,8	2,40	0,54
20	432	1,9	2,27	0,55
21	404	2,1	2,06	0,56
22	351	2,2	1,96	0,58
23	320	2,4	1,80	0,59
24	263	2,5	1,73	0,63
25	192	3,2	1,35	0,72
26	144	3,8	1,14	0,86
Průměrná δ_m				2,44



13.4 Měření třecích ztrát na vodní trati

Tento stand slouží k měření ztrát na vodní trati pro různé průměry potrubí o různých drsnostech. Na tomto standu jsem ocejchoval clonu.



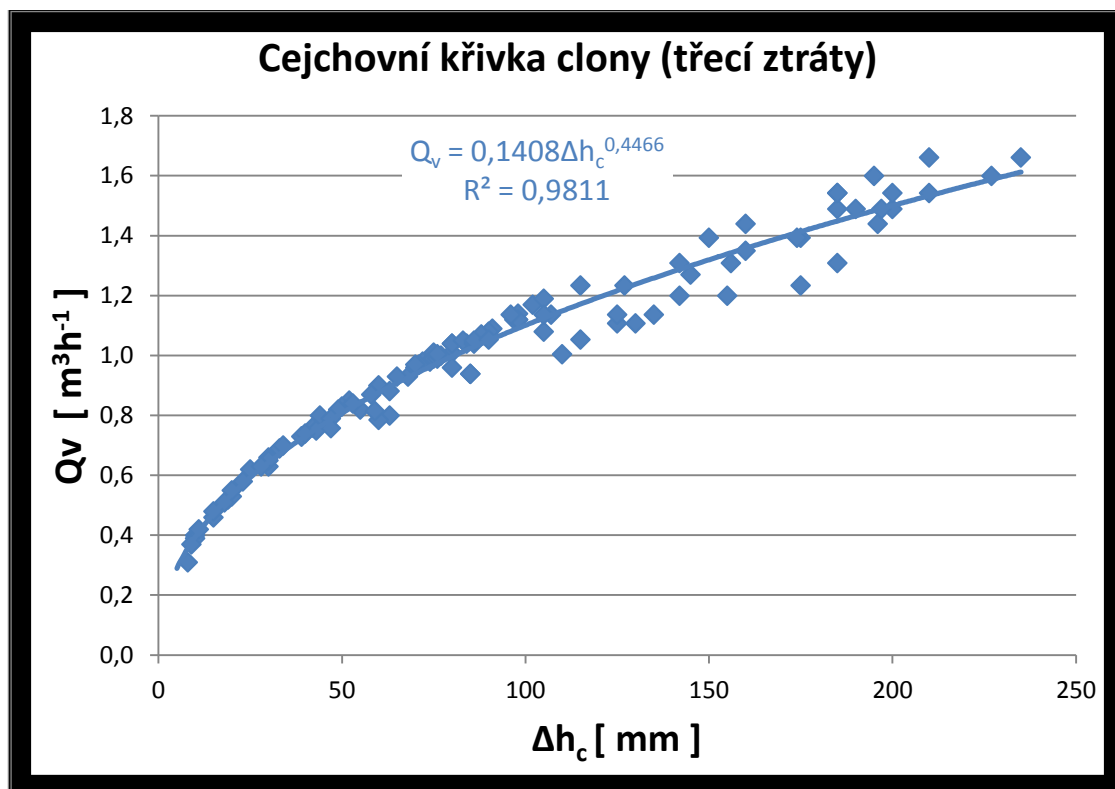
obr. 13.4 Stand pro měření třecích ztrát na vodní trati

Vyhodnocení měření

otevřené potrubí T1, T2, T3, T4				
n = 2000 ot.min ⁻¹				
Měření	Naměřené a vypočítané hodnoty			
	Δh_c [mm]	t [s]	Q_v [m ³ h ⁻¹]	δ_m [%]
1	105	-	1,19	1,08
2	97	-	1,12	1,15
3	88	-	1,07	1,24
4	75	-	0,99	1,42
5	65	-	0,93	1,62
6	55	-	0,82	1,89
7	39	-	0,73	2,61
8	18	-	0,51	5,58
9	10	-	0,39	10,01
10	235	2,6	1,66	0,66
11	227	2,7	1,60	0,67
12	210	2,8	1,54	0,69
13	200	2,8	1,54	0,71
14	190	2,9	1,49	0,73
15	185	2,9	1,49	0,74
16	115	3,5	1,23	1,00
17	107	3,8	1,14	1,06
18	96	3,8	1,14	1,16
19	63	4,9	0,88	1,66
Průměrná δ_m				1,88

Další naměřená data viz Příloha C

Z naměřených hodnot vyplývá, že s rostoucím počtem paralelně zapojených potrubí se prodlužuje cejchovní křivka. Délka křivky byla také závislá na průměru zapojeného potrubí. Nejkratší křivka byla pro nejmenší potrubí T1 a nejdelší křivka byla při paralelním zapojení potrubí T1, T2, T3, T4.



13.5 Měření charakteristiky čerpadla B

Na tomto standu se měří charakteristiky čerpadla. Výstupem z tohoto standu je závislost měrné energie na průtoku. Na tomto standu jsem ocejchoval clonu.

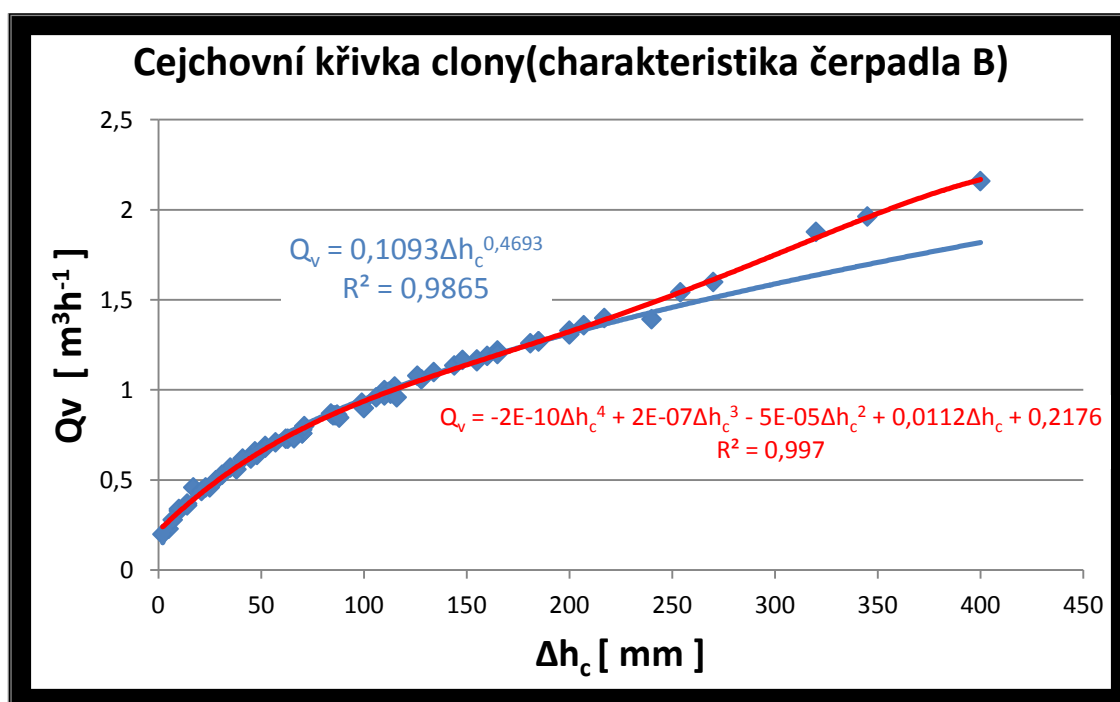


obr. 13.5 Stand pro měření charakteristiky čerpadla B

Vyhodnocení měření

n = 1800 ot.min ⁻¹				
Měření	Naměřené a vypočítané hodnoty			
	Δh_c [mm]	t [s]	Q_v [m ³ h ⁻¹]	δ_m [%]
1	165	-	1,22	0,79
2	160	-	1,19	0,80
3	155	-	1,16	0,82
4	126	-	1,08	0,94
5	115	-	1,02	1,00
6	110	-	1,00	1,04
7	99	-	0,93	1,13
8	85	-	0,86	1,28
9	70	-	0,76	1,51
10	63	-	0,73	1,66
11	48	-	0,64	2,14
12	35	-	0,57	2,90
13	17	-	0,46	5,90
14	14	-	0,37	7,16
15	5	-	0,23	20,01
16	484	1,3	3,32	0,54
17	400	2,0	2,16	0,56
18	345	2,2	1,96	0,58
19	254	2,8	1,54	0,64
20	185	3,4	1,27	0,74
21	144	3,8	1,14	0,86
22	87	5,0	0,86	1,25
Průměrná δ_m				2,47

Další naměřená data viz Příloha D



14 Závěr

V teoretické části této bakalářské práce jsou v prvních kapitolách popsány základní metody měření průtoku. Z těchto metod jsem použil metodu objemového průtoku. Jsou zde zpracovány veškeré, pro tuto práci potřebné teoretické poznatky jako např. chyby měření, celková konstrukce clony, požadavky na její zabudování a konstrukci odběru tlaku. V této práci byla clona porovnána s dalšími průřezovými měřidly jako je dýza a venturiho trubice.

V praktické části byl proveden návrh měřicího obvodu pro cejchování clony. Čerpadlo bylo navrženo pro parametry dané měřicí tratě. Při návrhu jednotlivých délek potrubí jsem vycházel z dané normy a přímou délku pro uklidnění proudění před clonou jsem zvolil pro nejvyšší poměr zúžení, jaký norma dovoluje. Veškeré prvky použité v obvodu jsou uvedeny ve specifikaci. Pro měření průtoku byl zvolen ultrazvukový průtokoměr SONOELIS SE4062. Pro měření ztrátové výšky jsem zvolil U-trubice a to z důvodu, že při použití diferenčních manometrů bych se pohyboval v dolní třetině jejich rozsahu. To by velice ovlivňovalo výslednou chybu. V této práci byly oceňovány clony z veškerých dostupných měřících tratí na katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení. Při cejchování byla použita kombinace měření průtoku průtokoměrem a objemovou metodou. Objemová metoda byla použita proto, že při měření průtokoměrem se délka měřicí tratě poměrně zvětšovala a tak nešlo dosáhnout nejvyšších možných Δh_c . Při měření průtokoměrem jsem do Microsoft Excel zapisoval sobě odpovídající hodnoty Δh_c a Q_v , popřípadě dobu výtoku t při měření objemovou metodou. Výsledné hodnoty jsem v grafu proložil mocninným, popřípadě i polynomickým modelem a získal rovnice cejchovních křivek pro všechny měřicí tratě. Pro každé měření byla vyhodnocena chyba měření.

15 Seznam použité literatury

[1] ORLÍKOVÁ, Soňa. Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů. Elektrovue [online]. 10.12.2001, 49, [cit. 2011-12-20]. Dostupný z WWW:

<http://www.elektrovue.cz/clanky/01049/index.html#_Měření_objemového_průtoku>.

[2] KADLEC, Karel; KMÍNEK, Miloš. MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ TECHNIKA [online]. Praha : Ústav počítačové a řídicí techniky (VŠCHT Praha), únor 2005 [cit. 2011-12-20]. Měření průtoku a proteklého množství, s. . Dostupné z WWW:

<<http://moodle.vscht.cz/mod/url/view.php?id=539>>.

[3] Mattech.cz [online]. c2011 [cit. 2011-12-20]. Clony. Dostupné z WWW:

<<http://www.mattech.cz/cs/clony>>.

[4] ČSN ISO 5167-2. Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony. Praha : Český normalizační institut, 2003.

[5] ČSN ISO 5167-1. Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 1: Obecné principy a požadavky. Praha : Český normalizační institut, 2003.

[6] KOPÁČEK, Jaroslav. Technická diagnostika hydraulických mechanismů. Ostrava: VŠB-TUO, 1990, s. 83-86. ISBN 80-03-00308-3.

[7] ŠKORPÍK, Jiří. Škrčení plynů a par, Transformační technologie, 2006. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/skrцени-plynu-a-par.html>.

[8] JENČÍK, Josef. Technická měření. Praha: ČVUT, 2003, s. 164-168.

[9] C1-Měření průtoku vzduchu normovanou Venturiho dýzou. In: Průřezová měřidla s konstantním poměrem zúžení [online]. 2007 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1386/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/C1.pdf

[10] ČSN EN ISO 5167-3. Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 3: Dýzy a Venturiho dýzy. Praha: Český normalizační institut, 2003.

[11] ČSN EN ISO 5167-4. Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 4: Venturiho trubice. Praha: Český normalizační institut, 2003.

[12] Chyby. Amper.ped.muni [online]. 1997 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html_tree/node6.html

16 Seznam příloh

Příloha A	Měření místních ztrát na vodní trati
Příloha B	Měření spolupráce čerpadel
Příloha C	Měření třecích ztrát na vodní trati
Příloha D	Měření charakteristiky čerpadla B